



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 195 20 353 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 04 L 27/00**  
H 04 J 11/00

②1 Aktenzeichen: 195 20 353.4  
②2 Anmeldetag: 7. 6. 95  
②3 Offenlegungstag: 12. 12. 96

DE 195 20 353 A 1

⑦1 Anmelder:

Deutsche Thomson-Brandt GmbH, 78048  
Villingen-Schwenningen, DE

⑦2 Erfinder:

Muschallik, Claus, Dipl.-Ing., 78050  
Villingen-Schwenningen, DE; Armbruster, Veit,  
Dipl.-Ing., 78112 St Georgen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

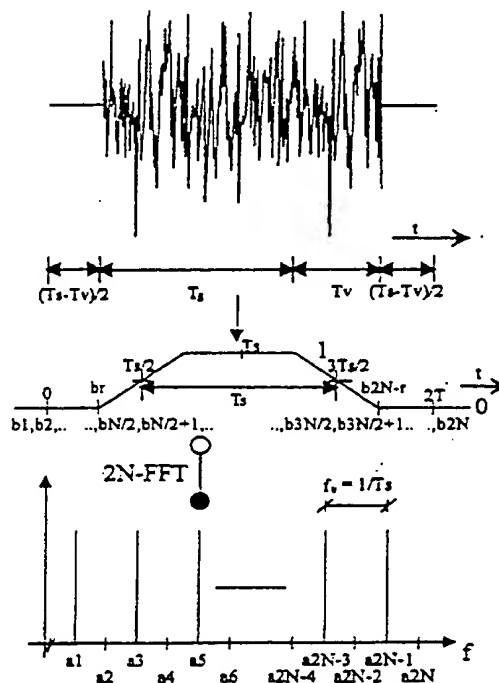
DE 41 38 770 A1  
DE 37 30 399 A1  
EP 06 13 267 A2

SCHRÜFER, Elmar: Interpolation bei der Diskreten  
Fourier-Transformation durch Einfügen von Nullen.  
In: tm - Technisches Messen 81, 1994, 2, S.89-93;  
FRIESE, Mathias: Daten-Träger. In: Elrad 1994,  
H.3, S.80-84;  
ENGELS, Volker, et.al.:

OFDM-Übertragungsverfahren für den Digitalen  
Fernsehrundfunk. In: Rundfunktech. Mitteilungen,  
Jg.37, 1993, H.6, S.260-270;  
MÄUSL, Rudolf: Fernsehtechnik, 2.Aufl., Heidelberg,  
Hüthig Buch Verlag, 1995, S.186-175;  
PAPOULIS, Athanasios: Signal Analysis, McGraw-Hill  
Book Company, Auckland, 1988, S.173-179;  
ANTONIOU, Andreas: Digital Filters, McGraw-Hill,  
Inc., New York, 1993, S.477-483;

⑤4 Verfahren und Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von  
digitalen Signalen

⑤7 Bei dem OFDM-Verfahren werden eine Vielzahl modulier-  
ter Träger im Frequenzmultiplex übertragen, wobei sich  
durch die hohe Trägeranzahl ein Spektrum mit einer fast  
rechteckigen Form ergibt. Um die Träger im Empfänger  
wieder voneinander zu trennen, wird eine Fast-Fourier-  
Transformation durchgeführt, wobei jeder Träger dann sau-  
ber von den anderen getrennt werden kann, wenn die Träger  
exakt orthogonal zueinander sind. Die Trägerorthogonalität  
kann jedoch durch verschiedene Ursachen gestört werden.  
Ferner muß im Empfänger das Nutzsignal von den uner-  
wünschten Nachbarkanalsignalen durch eine analoge oder  
digitale Filterung getrennt werden. Zur Verbesserung der  
Träger- und Kanaltrennung kann die Selektivität der FFT-  
Filterung durch eine Vergrößerung der Anzahl der FFT-Kompo-  
nenten erhöht werden. Dieses führt jedoch normalerweise  
zu einer unerwünscht starken Zunahme des Rechenaufwan-  
des. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des im  
Rahmen der FFT verwendeten Zeitfensters sowie eine  
Überabtastung vor der FFT wird es jedoch ermöglicht, auf  
die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten.



DE 195 20 353 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen.

## Stand der Technik

Bei dem OFDM-Verfahren (Orthogonally Frequency Division Multiplexing) wird nicht ein Träger für jedes Programm verwendet, sondern eine Vielzahl modularer Träger, die im Frequenzmultiplex übertragen werden. Die Modulationsart kann z. B. eine QPSK, eine 64QAM oder auch eine andere digitale Modulationsart sein. Die Frequenzen der N Träger weisen äquidistante Abstände  $f_{tr}$  auf und werden derart gewählt, daß sie ein orthogonales Funktionensystem bilden. Durch die hohe Trägeranzahl ergibt sich hierbei ein Spektrum mit einer fast rechteckigen Form, so daß das OFDM-Signal im benutzten Band eine konstante Leistungsdichte aufweist, ähnlich wie beim bandbegrenzten weißen Rauschen.

Die Programmsignale werden in Symbole der Dauer  $T_s = 1/f_{tr}$  zerlegt und auf die N verschiedenen Trägerfrequenzen verteilt. Hierbei wird jedem OFDM-Symbol ein Guard-Intervall der Länge  $T_g$  zugewiesen, in dem ein Teil des Symbols wiederholt wird, um das Signal gegen Echos unempfindlich zu machen.

Um die Träger im Empfänger wieder voneinander zu trennen, wird eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) der Länge N durchgeführt, wobei jeder Träger dann sauber von den anderen getrennt werden kann, wenn die Träger exakt orthogonal zueinander sind.

Die Trägerorthogonalität kann jedoch durch verschiedene Ursachen gestört werden. So kann eine Frequenzabweichung der Träger oder eine Verbreiterung der Träger durch Phasenrauschen erfolgen. Die Orthogonalität wird auch gestört, falls Frequenzanteile vorhanden sind, die zwischen den Trägern liegen. Dieses kann durch weißes Rauschen oder eine harmonische Störung, deren Frequenz nicht mit einer Trägerfrequenz übereinstimmt, verursacht werden.

Ferner muß im Empfänger das Nutzsignal von den unerwünschten Nachbarkanalensignalen durch eine analoge oder digitale Filterung getrennt werden. Füllt das Nutzsignal den gesamten Kanal bis zu den Bandgrenzen aus, so erfordert der geringe Abstand zweier benachbarter Signale zur Trennung sehr steile Filter, die einen hohen Aufwand des Systems erfordern. Das Abschalten von mehreren Trägern an den Bandgrenzen zur Vergrößerung des Abstandes kann nur bedingt Abhilfe schaffen.

In beiden Fällen tritt eine Integration aller Frequenzanteile auf (Leckeffekt der FFT), die zu einer deutlichen Zunahme der Störungen im jeweiligen OFDM-Empfänger führen kann.

## Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen durch eine saubere Träger- und Kanaltrennung anzugeben. Diese Aufgabe wird durch das in Anspruch 1 bzw. 6 angegebene Verfahren gelöst.

Der Erfindung liegt die weitere Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens anzugeben. Diese Aufgabe

wird durch die in Anspruch 8 bzw. 11 angegebene Schaltungsanordnung gelöst.

Zur Verbesserung der Trennung der N Träger kann die Selektivität der FFT-Filterung durch eine Vergrößerung der Anzahl der FFT-Komponenten erhöht werden. Dies führt jedoch normalerweise zu einer unerwünschten starken Zunahme des Rechenaufwandes, da die Länge der FFT und damit die Anzahl der berechneten Koeffizienten ein ganzzahliges Vielfaches von N betragen muß. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des im Rahmen der FFT verwendeten Zeitfensters ist es jedoch möglich, auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten. Die Implementation des Fensters kann hierbei, je nach Sendesignal und Sendebedingungen, adaptiv an die Sendeverhältnisse mit Hilfe einer Schätzung der Kanaleigenschaften angepaßt werden.

Die Kanaltrennung kann verbessert werden, wenn im Empfänger vor der FFT das Signal überabtastet wird. Die erfindungsgemäße Wahl der Überabtastung ermöglicht dann, auch hier auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten und eine relativ einfache analoge Filterung zu verwenden, da dann keine steile Filterung mehr nötig ist.

Bei der Träger- und Kanaltrennung kann die FFT nach dem Prinzip der Reduktion im Frequenzbereich (decimation-in-frequency) durchgeführt werden, so daß nur die erste Stufe einer FFT mit allen Koeffizienten berechnet werden muß. Die weiter verwendeten Koeffizienten werden dann entsprechend einer normalen N-FFT berechnet. Damit ist die Aufwandserhöhung für ein großes N minimal.

Im Prinzip besteht das erfindungsgemäße Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, wobei für die Übertragung die digitalen Signale in Symbole der Dauer  $T_s$  zerlegt werden und jedem Symbol ein Guard-Intervall zugewiesen wird und diese auf N verschiedene Trägerfrequenzen verteilt werden und wobei das übertragene Signal in einem Empfänger einer Fouriertransformation unterzogen wird, darin, daß für die Symbole neue Symbole der Dauer  $M_1 \cdot T_s$  erzeugt werden und bei der Fouriertransformation nach einer Abtastung des Signals eine Multiplikation mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt, wobei die Länge der Fouriertransformation  $M_1 \cdot N$  beträgt und durch die Fouriertransformation jeder  $M_1$ -te Koeffizient berechnet wird.

Vorzugsweise werden die Symbole um die Dauer  $T_v$  verlängert und damit verlängerte Symbole erzeugt, Abtastwerte vor und hinter den verlängerten Symbolen zu-Null gesetzt, um damit die neuen Symbole zu erzeugen, und die Zeitfenster jeweils aus einem Nyquist-Fenster und einem zu-Null gesetzten Bereich gebildet.

Vorteilhaft wird die Anzahl der zu-Null gesetzten Abtastwerte so gewählt, daß die Dauer der neuen Symbole  $2 \cdot T_s$  beträgt, das Nyquist-Fenster die Nyquistpunkte bei  $T_s/2$  und  $3T_s/2$  aufweist, die Länge der Fouriertransformation  $2 \cdot N$  beträgt und nur jeder 2-te Koeffizient berechnet wird.

Vorteilhaft werden die neuen Symbole aus den Symbolen und einem Teil der Guard-Intervalle gebildet.

Besonders vorteilhaft wird in dem Empfänger die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle berechnet, um eine Längenanpassung der zur Bildung der neuen Symbole benutzten Teile der Guard-Intervalle zu ermöglichen.

Im Prinzip besteht das erfindungsgemäße Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, bei denen eine

Übertragung in mehreren Kanälen erfolgt, wobei je Kanal  $N$  Trägerfrequenzen verwendet werden und in einem Empfänger einer der Kanäle selektiert wird, eine Abtastung des Signals und eine Fouriertransformation erfolgt, darin, daß bei der Abtastung  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte erzeugt werden, die Länge der Fouriertransformation  $M_2 \cdot N$  beträgt und durch die Fouriertransformation die mittleren  $N$  Koeffizienten berechnet werden.

Vorteilhaft werden die Merkmale von Anspruch 6 mit den Merkmalen von einem der Ansprüche 1 bis 5 kombiniert.

Im Prinzip besteht die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung für ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit zugeführt werden, in der eine Abtastung der Signale und eine Umwandlung in I/Q-Signale erfolgt, eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit erfolgt und in einem Prozessor die Trennung der  $N$  Trägerfrequenzen durchgeführt wird, darin, daß im Prozessor neue Symbole der Dauer  $M_1 \cdot T_s$  erzeugt werden, eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt, eine Fouriertransformation der Länge  $M_1 \cdot N$  durchgeführt wird und nur der  $1/M_1$ -Teil der Koeffizienten berechnet wird.

Vorteilhaft wird zur Erzeugung der neuen Symbole die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit bestimmt.

Vorteilhaft besteht die erste Einheit aus einem A/D-Wandler und einem digitalen Filter.

Im Prinzip besteht die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung für ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen nach Anspruch 6, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit zugeführt werden, in der eine Abtastung der Signale und eine Umwandlung in I/Q-Signale erfolgt, eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit erfolgt und in einem Prozessor die Trennung der  $N$  Trägerfrequenzen durchgeführt wird, darin, daß durch eine Synchronisierungseinheit die Abtastrate derart gewählt wird, daß bei der Abtastung  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte erzeugt werden, im Prozessor eine FFT der Länge  $M_2 \cdot N$  berechnet wird und nur der  $1/M_2$ -Teil der Koeffizienten berechnet wird.

Vorzugsweise sind  $M_1$  und  $M_2$  natürliche Zahlen, insbesondere Potenzen von 2.

### Zeichnungen

Anhand der Zeichnungen werden Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben. Diese zeigen in:

Fig. 1 ein OFDM-Signal (A), ein Rechteck-Zeitfenster (B), sowie das zugehörige Koeffizienten-Spektrum (C),

Fig. 2 das der 2N-FFT aus Fig. 1 entsprechende Filterverhalten,

Fig. 3 ein OFDM-Signal (A), ein Nyquist-Zeitfenster (B), sowie das zugehörige Koeffizienten-Spektrum (C),

Fig. 4 das der 2N-FFT entsprechende Filterverhalten für verschiedene roll-off-Faktoren,

Fig. 5 ein Vergleich der Störungen bei einer herkömmlichen (A) und der erfindungsgemäßen FFT (B),

Fig. 6 die Nachbarkanalfilterung mit leichter analoger Filterung (oben), Überabtastung und Bildung einer 2N-FFT (unten),

Fig. 7 die Vereinfachung einer 4N-FFT zu einer N-FFT mit einem 4-radix Algorithmus,

Fig. 8 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung.

### Ausführungs-Beispiel

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Verbesserung der Trägertrennung dargestellt. Das Spektrum des OFDM-Signals weist im Zeitbereich einen scheinbar rauschartigen Verlauf auf, wie in Fig. 1A dargestellt. Es wird nun eine Erhöhung der Dauer eines Symbols auf das doppelte (oder  $2^n$ -fache) im Sender z. B. durch Verlängerung des Guard-Intervalls durchgeführt. Aus diesem Signal werden  $2N$  Abtastwerte  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_{2N-1}, b_{2N}$  abgetastet, wobei die Abtastwerte entsprechend Fig. 1B mit einem Zeitfenster multipliziert werden, um die einzelnen Symbole voneinander zu trennen. Das rechteckige Zeitfenster hat hierbei eine Länge von  $2T_s$ . Innerhalb dieser Zeit berechnet eine FFT der Länge  $2N$  aus den Abtastwerten die  $2N$  komplexen Koeffizienten  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{2N-1}, a_{2N}$ . Diese Koeffizienten enthalten die im Sender modulierte Information jedes einzelnen Trägers, wobei, wie in Fig. 1C gezeigt, von den  $2N$  Koeffizienten nur die Koeffizienten  $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots, a_{2N-1}$  relevante Information enthalten. Die restlichen Koeffizienten werden nicht benötigt, so daß ihre Berechnung nicht erfolgen muß.

Das Filterverhalten der 2N-FFT verdeutlicht Fig. 2. Eine Trägerinformation beinhaltet nur jeder zweite Koeffizient. Das bedeutet für die FFT, wie schon zu Fig. 1 beschrieben, daß nur diese Hälfte der Koeffizienten berechnet werden muß, die andere Hälfte muß dagegen nicht berücksichtigt werden. Für jeden Träger hat das Filterverhalten die Form einer  $\sin(x)/(2Nx)$  Funktion. Jede Funktion entspricht damit einem Filter, das einen der  $N$  Träger ohne Verluste durchläßt, die anderen dagegen aus dem Signal herausfiltert. Das absolute Maximum einer jeden Funktion stimmt hierbei mit den Nulldurchgängen der übrigen Filter überein. Die Maxima der Filter weisen einen reduzierten Abstand von  $f_{tr}/2$  auf und die Anzahl der Filter ist doppelt so groß wie bei einer N-FFT. Insbesondere sind die Durchlaßbereiche der jeweiligen Filter nur halb so breit wie bei einer N-FFT. Dieses bewirkt eine Verbesserung des Störabstandes, da:

- falls weißes Rauschen vorhanden ist, nur die Hälfte der Rauschleistung pro Träger im Vergleich zum herkömmlichen Fall integriert wird. Dieses führt zu einer Verbesserung des Störabstandes um 3 dB.

- und falls ein harmonischer Störer im Bereich eines Filtermaximum auftritt, bei dem kein Träger vorhanden ist, dieser Störanteil vom Nutzsignal sogar vollständig ausgefiltert wird.

Die erfindungsgemäße Verwendung einer Nyquist-Fensterung zur Trägertrennung ist in Fig. 3 dargestellt. Das vorhandene Symbol der Dauer  $T_s$  wird um die Zeit  $T_v$  verlängert, wobei  $T_v$  beliebig variiert werden kann und ein Teil des Guard-Intervalls  $T_g$  ist ( $T_v < T_g$ ) mit z. B.  $T_g/T_s, 1:4$ . Insbesondere kann  $T_v$ , falls die Übertragung nur kurze Echos aufweist, entsprechend lang gewählt werden. Die Abtastwerte  $b_{r+1}, b_{r+2}, \dots, b_{2N-r}$  werden durch Abtastung des Nutzsymbols  $T_s$  und der Symbolverlängerung  $T_v$  gewonnen. Die Werte  $b_1, b_2, \dots, b_r$  und  $b_{2N-r}, \dots, b_{2N}$  sind gleich Null. Das so erhaltene neue Symbol  $S_n$  setzt sich folgendermaßen zusammen:

Neues Symbol = Nullen + altes Symbol + Symbol-

verlängerung + Nullen.

Damit ergibt sich entsprechend Fig. 3A für die Dauer des neuen Symbols:

$$(T_s - T_v)/2 + T_s + T_v + (T_s - T_v)/2 = 2T_s$$

Somit kann ein Nyquistfenster benutzt werden, das symmetrisch um die Symbolmitte ist. Die Fensterung kann z. B. als Kosinus roll-off ausgelegt werden, andere Nyquist-Fenster (Dreieck, Trapez u. a.m.) sind jedoch ebenso anwendbar. Die "Nyquistzeit", in Analogie zur Nyquistfrequenz, liegt bei  $1/2T_s$  und  $3/2T_s$ , wie in Fig. 3B dargestellt. Alle  $2N$  Abtastwerte werden mit einer  $2N$ -FFT transformiert, um  $2N$  Koeffizienten zu erhalten. Auch hier muß jedoch, wie in Fig. 3C gezeigt, nur eine Hälfte der Koeffizienten berechnet werden.

Fig. 4 zeigt das Filterverhalten der  $2N$ -FFT mit Nyquist-Fensterung. Auch hier treten doppelt so viele Filter wie bei einer  $N$ -FFT auf, wobei die Trägerinformation in den Koeffizienten  $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots, a_{2N}$  enthalten ist. Da die restlichen Koeffizienten nicht berücksichtigt werden müssen, sind diese und die entsprechenden Filter gerader Ordnung zur Erhöhung der Übersichtlichkeit in der Figur nicht dargestellt. Durch die Nyquist-Fensterung (Fig. 4C), d. h. kosinus roll-off gleich 1, klingen die Überschwinger der Filterfunktion viel früher ab als bei einem kosinus roll-off gleich 0.5 (Fig. 4B), oder einem Rechteckfenster (Fig. 4A), entsprechend kosinus roll-off gleich 0.

Die Nyquistfensterung hat damit folgende Vorteile:

- Verbesserung des Störabstandes beim Auftreten von weißem Rauschen bis zu 1.2 dB, abhängig vom gewählten roll-off Faktor.
- Verringerung des Störabstandes, falls ein diskreter Störer im Nutzband vorhanden ist, wobei die betroffenen Träger weniger gestört und weniger Nachbarträger beeinflusst werden.
- Verbesserung des Störabstandes falls eine Frequenzabweichung oder Phasenrauschen vorhanden ist.

Die Verbesserung des Störabstandes am Beispiel des Auftretens von Frequenzabweichungen kann Fig. 5 entnommen werden. In dieser werden für eine 16QAM bei der Verwendung von 2048 Trägern Vektordiagramme für eine herkömmliche  $N$ -FFT (A) und eine erfindungsgemäße  $2N$ -FFT mit Nyquist-Fensterung und roll-off = 1 (B) gegenübergestellt. Jeder Punkt entspricht hierbei in den Diagrammen einem Träger. Für die herkömmliche  $N$ -FFT ist eine deutliche Streuung der Träger um die jeweiligen Sollwerte zu erkennen, die für das erfindungsgemäße Verfahren merklich abnimmt.

Die erfindungsgemäße Nachbarkanalfilterung wird in Fig. 6 erläutert. Der Nutzsignal-Kanal IS und die Nachbar-Kanäle NC grenzen hierbei unmittelbar aneinander. Das OFDM-Nutzsignal wird im Basisbandbereich mit einem anti-Aliasing-Filter, einer relativ einfachen analogen Filterung, selektiert und dann abgetastet. Die gestrichelte Linie F kennzeichnet hierbei die Frequenzcharakteristik der Filterung. Das Signal wird anschließend mit einer einfachen Überabtastung A/D umgesetzt. Von dem überabgetasteten Signal wird eine FFT der Länge  $2N$  gebildet. Die  $N$  Koeffizienten 1 bis  $N/2$  bzw.  $N/2 + 1$  bis  $2N$  enthalten keine Nutzinformation, sondern die Störung der Nachbarkanäle. Diese Koeffizienten brauchen daher nicht berechnet zu werden, so daß die Komplexität der  $2N$ -FFT wesentlich vereinfacht

wird. Dagegen enthalten die  $N$  Koeffizienten  $N/2 + 1$  bis  $N/2$  die Nutzinformation und werden für die weitere Verarbeitung benutzt. Für ein OFDM Nachbarsignal mit einer dem Nutzsignal entsprechenden Leistung ist diese Filterung durch Überabtastung und Verdopplung der FFT ausreichend. Will man jedoch die Auswirkung des Leckeffekts verringern und damit die Filterwirkung erhöhen, kann die Kanalfilterung mit der oben beschriebenen Fensterung kombiniert werden. Die Fensterung erfordert dann eine nochmalige Verdopplung der Anzahl der FFT-Koeffizienten, jedoch ohne nochmalige Überabtastung, so daß sich  $4N$  Abtastwerte ergeben. Der Aufwand der  $4N$ -FFT gegenüber einer  $N$ -FFT ist hierbei jedoch nur geringfügig höher, da nur ein Viertel der Koeffizienten zu Ende berechnet werden müssen.

So ist z. B. bei Verwendung eines 4-Radix-Algorithmus zur Berechnung der  $4N$ -FFT nach den ersten komplexen Multiplikationen der Aufwand gleich dem einer  $N$ -FFT. Dieses ist in Fig. 7 für ein einfaches Beispiel mit  $N = 16$  dargestellt. Die ursprüngliche Fouriertransformation mit  $N = 16$  wird hierbei in der ersten Stufe der FFT in eine Linearkombination von vier Fouriertransformationen mit jeweils  $N = 4$  (offene Kreise) aufgeteilt, um durch eine Herabsetzung der Multiplikationsoperationen den nötigen Zeitaufwand zu reduzieren. Nur eine dieser  $N = 4$  Fouriertransformationen muß dann berechnet werden, wie dieses durch den gestrichelten Bereich angedeutet ist, da nur jeder vierte Koeffizient benötigt wird.

Ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung zeigt Fig. 8. Nach einer Konversion des übertragenen OFDM-Signals in das Basisband werden die digitalen Signale einer ersten Einheit IQ zugeführt, in der eine Abtastung der übertragenen OFDM-Signale mit Hilfe eines A/D-Wandlers erfolgt. Zusätzlich enthält diese Einheit bei dem Verfahren zur Verbesserung der Trägertrennung einen digitalen Filter (FIR-Filter) zur Erzeugung von I/Q-Signalen. Bei Durchführung des Verfahrens zur Verbesserung der Kanaltrennung kann durch eine Überabtastung des OFDM-Signals im A/D-Wandler, die  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte ergibt, auf die FIR-Filterung verzichtet werden. Mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit M erfolgt dann eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale, bevor in einem Prozessor FFT die Trennung der Trägerfrequenzen durchgeführt wird. Hierfür wird eine Schnelle Fouriertransformation durchgeführt, wobei zur Verbesserung der Trägertrennung eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  und eine Symbolverlängerung auf eine Symbollänge von  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt. Die Länge der FFT wird entsprechend der Symbollänge und/oder der eventuell durchgeführten Überabtastung angepaßt und beträgt damit  $M_1 \cdot N$ ,  $M_2 \cdot N$  bzw. bei der gleichzeitigen Durchführung beider Verfahren  $M_1 \cdot M_2 \cdot N$ . Entsprechend wird im Prozessor nur der  $1/M_1$ ,  $1/M_2$  bzw. der  $1/(M_1 \cdot M_2)$ -te Teil der Koeffizienten berechnet. Zur Erzeugung der neuen Symbole wird dem Prozessor FFT die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit GI mitgeteilt, die aus dem empfangenen OFDM-Signal in bekannter Weise die Länge der Echos und der Guard-Intervalle ermittelt. Die Synchronisierung der Konversionseinheit IQ und des Prozessors FFT erfolgt durch eine Synchronisierungseinheit  $T_s$ .

Die Erfindung kann z. B. in Decodern für DAB oder digital terrestrisches Fernsehen verwendet werden.

1. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, wobei für die Übertragung die digitalen Signale in Symbole der Dauer  $T_s$  zerlegt werden und jedem Symbol ein Guard-Intervall zugewiesen wird und diese auf  $N$  verschiedene Trägerfrequenzen verteilt werden und wobei das übertragene Signal in einem Empfänger einer Fouriertransformation unterzogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß für die Symbole neue Symbole der Dauer  $M_1 \cdot T_s$  erzeugt werden und bei der Fouriertransformation nach einer Abtastung des Signals eine Multiplikation mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt, wobei die Länge der Fouriertransformation  $M_1 \cdot N$  beträgt und durch die Fouriertransformation jeder  $M_1$ -te Koeffizient berechnet wird. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß 10
  - die Symbole um die Dauer  $T_v$  verlängert werden und damit verlängerte Symbole erzeugt werden,
  - Abtastwerte vor und hinter den verlängerten Symbolen zu-Null gesetzt werden und damit die neuen Symbole erzeugt werden, 25
  - die Zeitfenster jeweils aus einem Nyquist-Fenster und einem zu-Null gesetzten Bereich gebildet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß 30
  - die Anzahl der zu-Null gesetzten Abtastwerte so gewählt wird, daß die Dauer der neuen Symbole jeweils  $2 \cdot T_s$  beträgt,
  - das Nyquist-Fenster die Nyquistpunkte bei  $T_s/2$  und  $3T_s/2$  aufweist, 35
  - die Länge der Fouriertransformation  $2 \cdot N$  beträgt
  - und nur jeder 2-te Koeffizient berechnet wird. 40
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die neuen Symbole aus den Symbolen und einem Teil der Guard-Intervalle gebildet werden. 45
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Empfänger die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle berechnet wird, um eine Längen Anpassung der zur Bildung der neuen Symbole benutzten Teile der Guard-Intervalle zu ermöglichen. 50
6. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, bei denen eine Übertragung in mehreren Kanälen erfolgt, wobei je Kanal  $N$  Trägerfrequenzen verwendet werden und in einem Empfänger einer der Kanäle selektiert wird, eine Abtastung des Signals und eine Fouriertransformation erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Abtastung  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte erzeugt werden, die Länge der Fouriertransformation  $M_2 \cdot N$  beträgt und durch die Fouriertransformation die mittleren  $N$  Koeffizienten berechnet werden. 55
7. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, bei dem die Merkmale von Anspruch 6 mit den Merkmalen von einem der Ansprüche 1 bis 5 kombiniert werden. 65
8. Schaltungsanordnung zur Verbesserung des

Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen für ein Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit (IQ) zur Abtastung und Umwandlung in I/Q-Signale zugeführt werden, eine Frequenzanpassung mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit (H) erfolgt und in einem Prozessor (FFT) die Trennung der  $N$  Trägerfrequenzen durchgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß im Prozessor (FFT) neue Symbole der Dauer  $M_1 \cdot T_s$  erzeugt werden, eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite  $M_1 \cdot T_s$  erfolgt, eine Fouriertransformation der Länge  $M_1 \cdot N$  durchgeführt wird und nur jeder  $M_1$ -te Koeffizient berechnet wird.

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der neuen Symbole die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit (GI) bestimmt wird.

10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Einheit (IQ) aus einem A/D-Wandler und einem digitalen Filter besteht.

11. Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen für ein Verfahren nach Anspruch 6, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit (IQ) zur Abtastung und Umwandlung in I/Q-Signale zugeführt werden, eine Frequenzanpassung mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit (M) erfolgt und in einem Prozessor (FFT) die Trennung der  $N$  Trägerfrequenzen durchgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine Synchronisierungseinheit ( $T_s$ ) die Abtastrate derart gewählt wird, daß bei der Abtastung  $M_2 \cdot N$  Abtastwerte erzeugt werden, im Prozessor (FFT) eine FFT der Länge  $M_2 \cdot N$  durchgeführt wird und nur die mittleren  $N$  Koeffizienten berechnet werden.

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

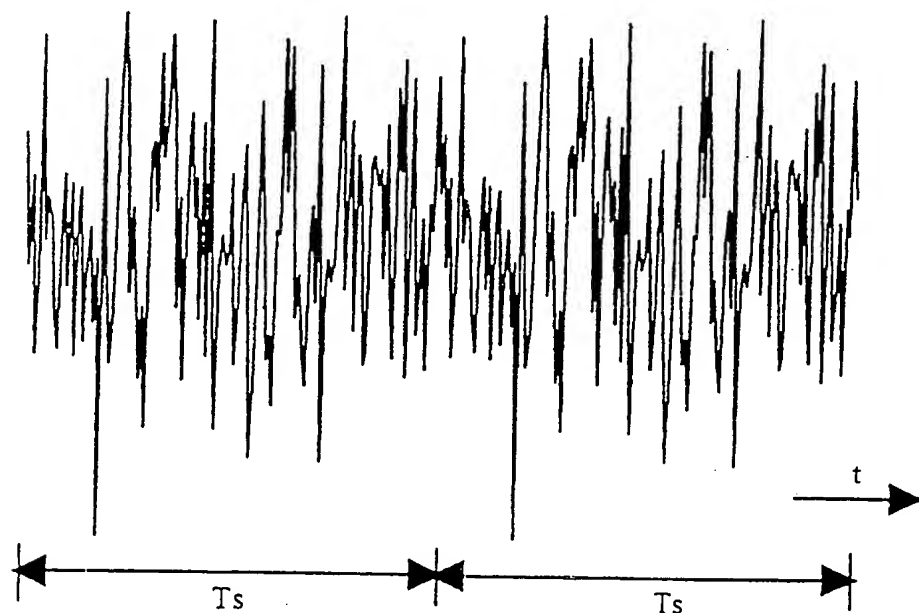


Fig. 1A

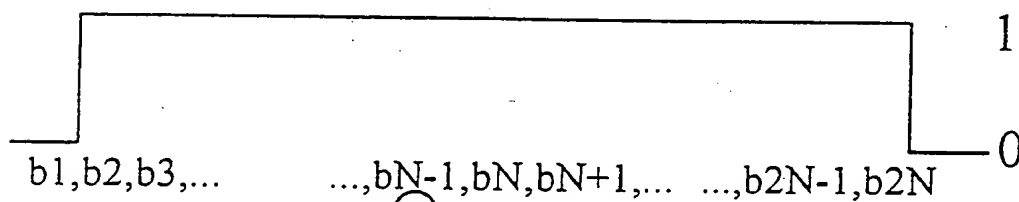


Fig. 1B

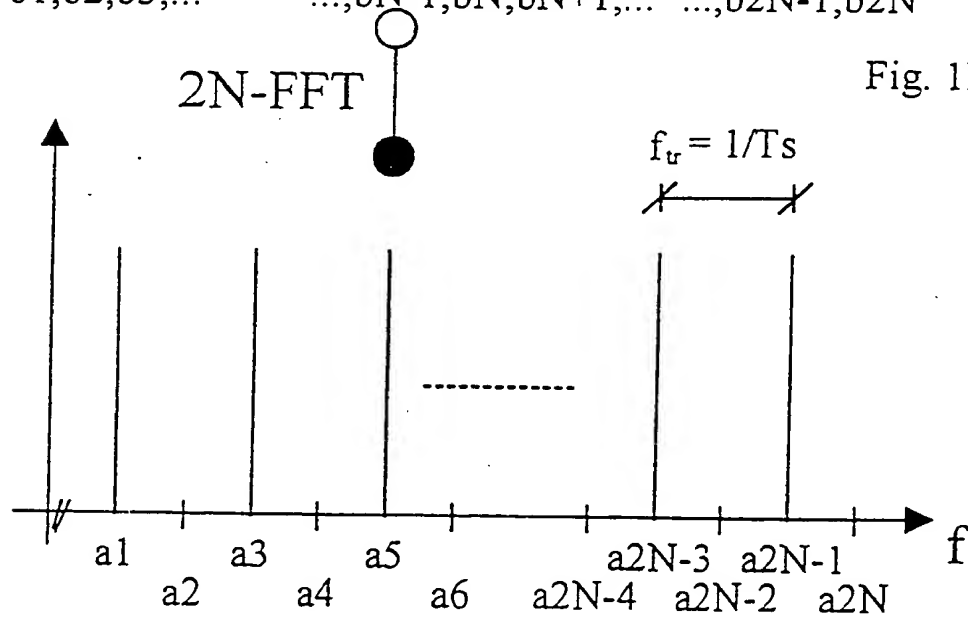


Fig. 1C

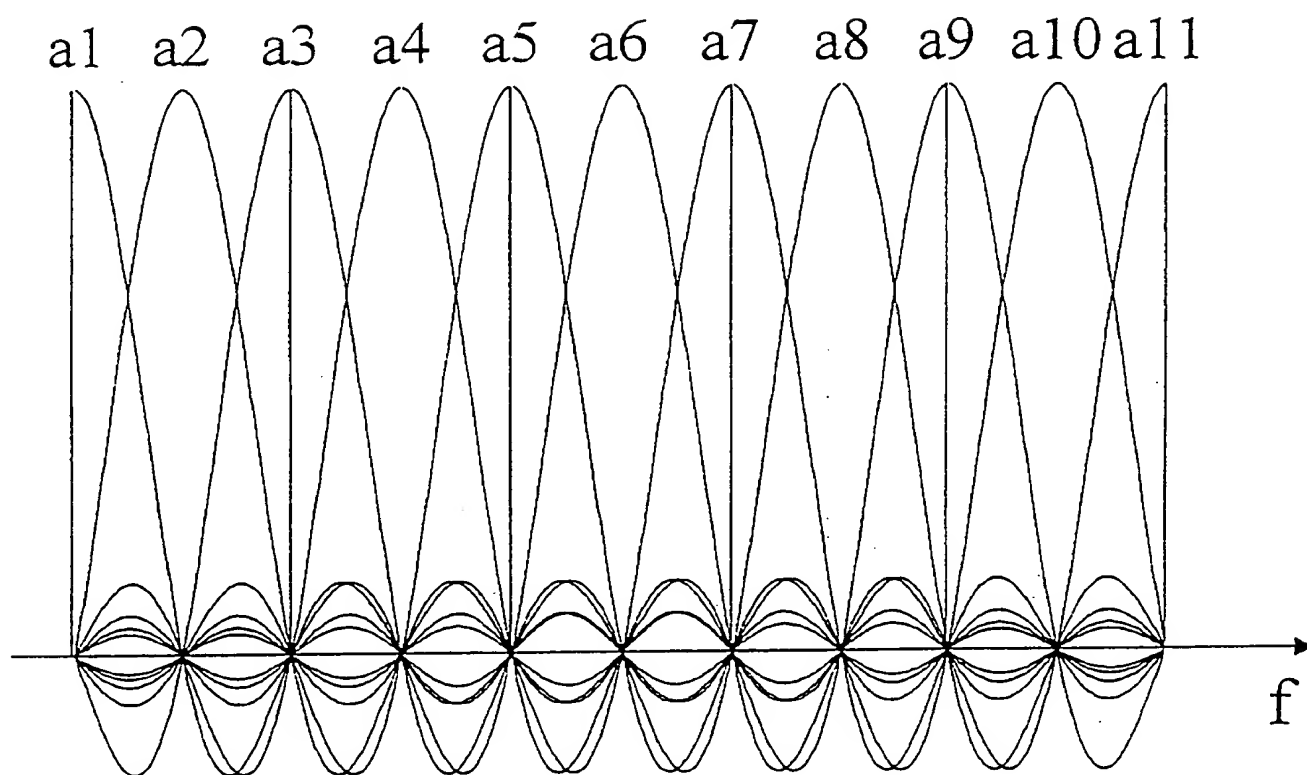


Fig. 2



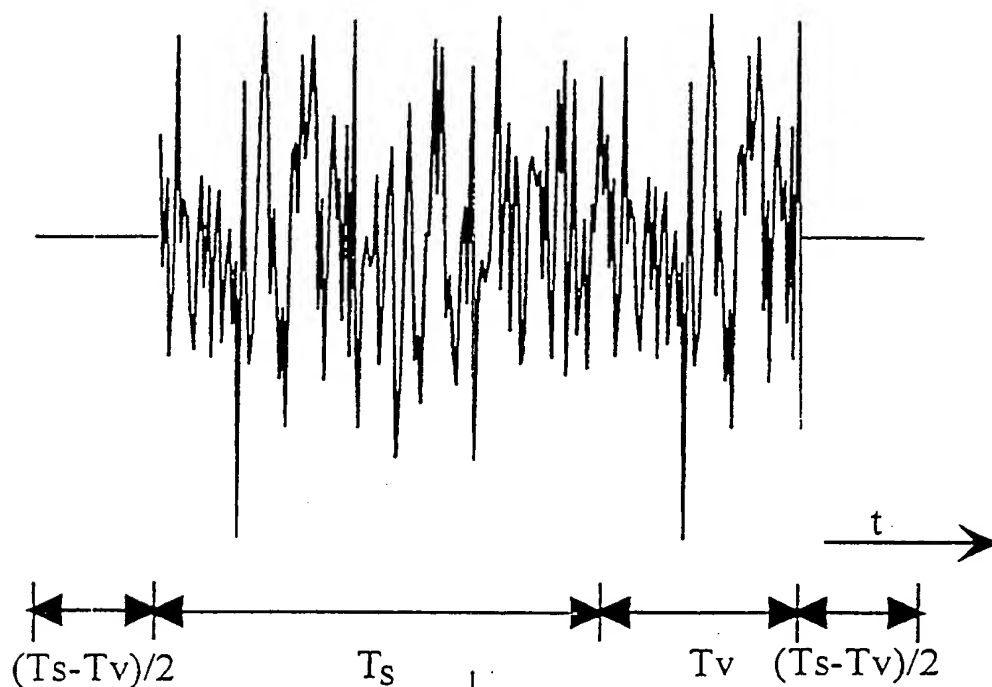


Fig. 3A

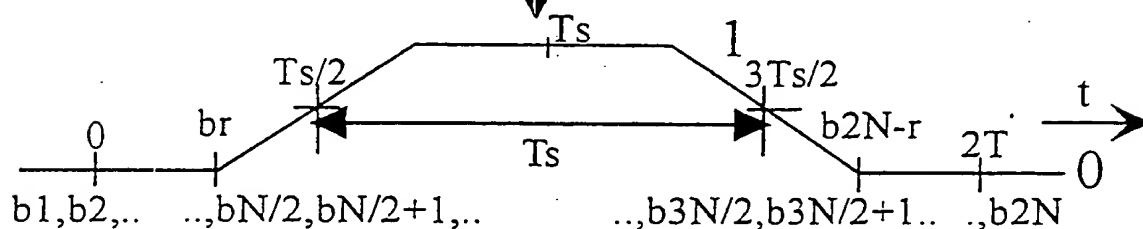


Fig. 3B

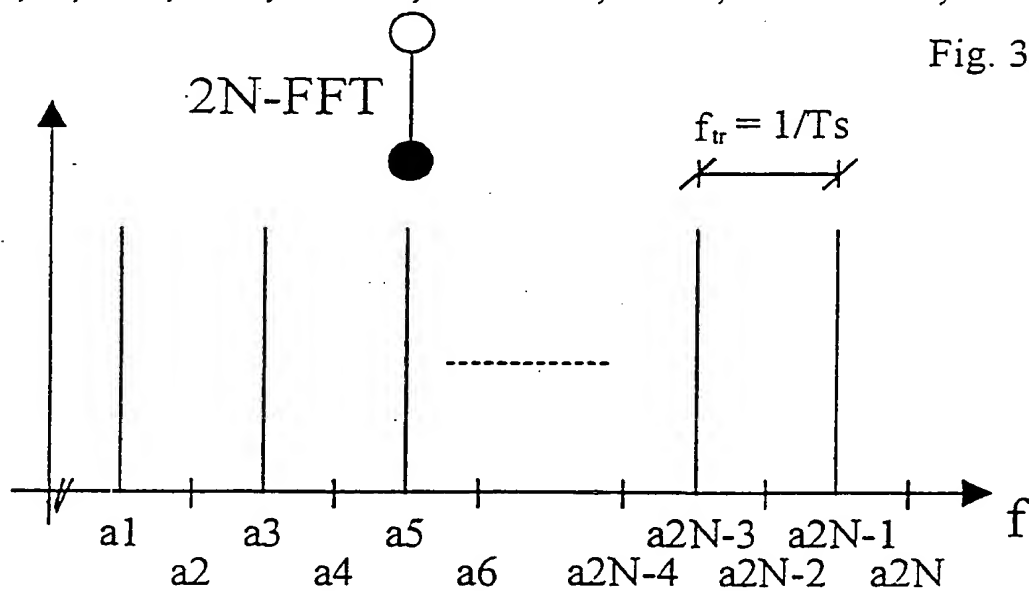


Fig. 3C

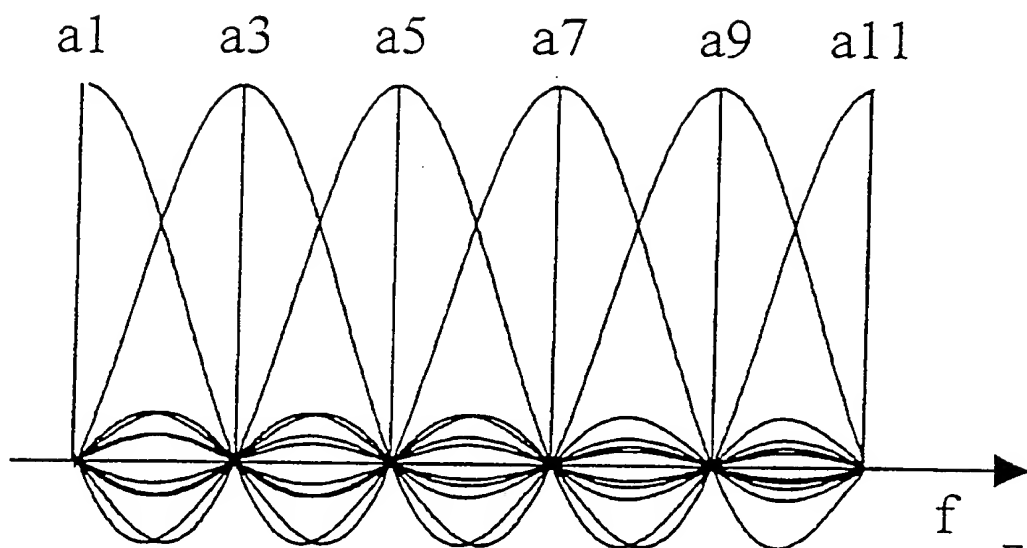


Fig. 4A

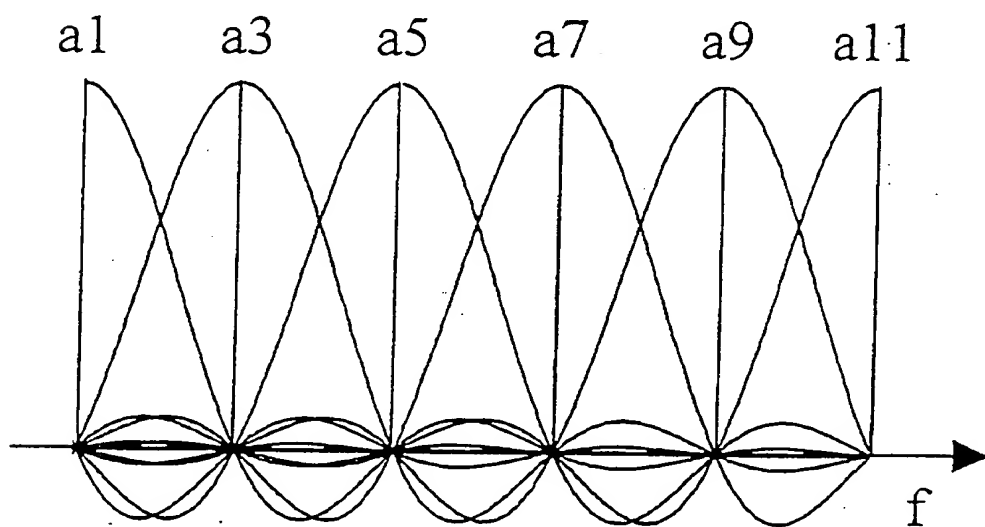


Fig. 4B

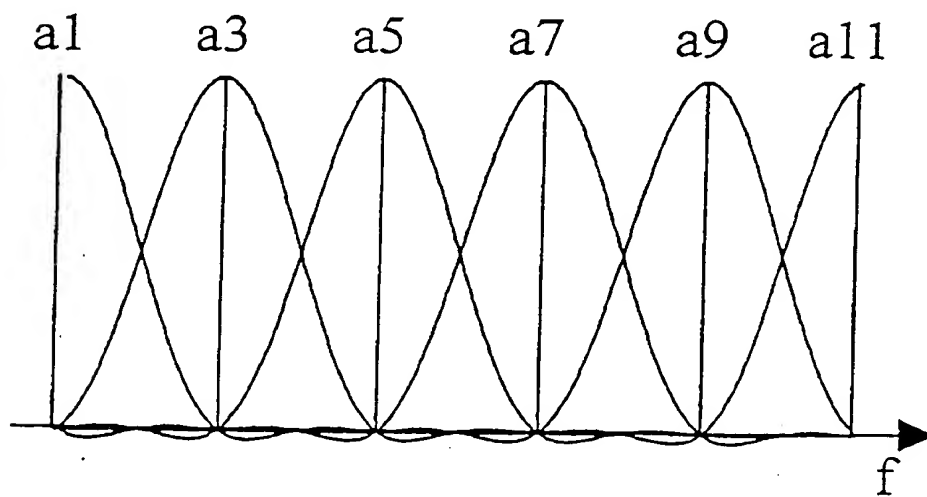


Fig. 4C

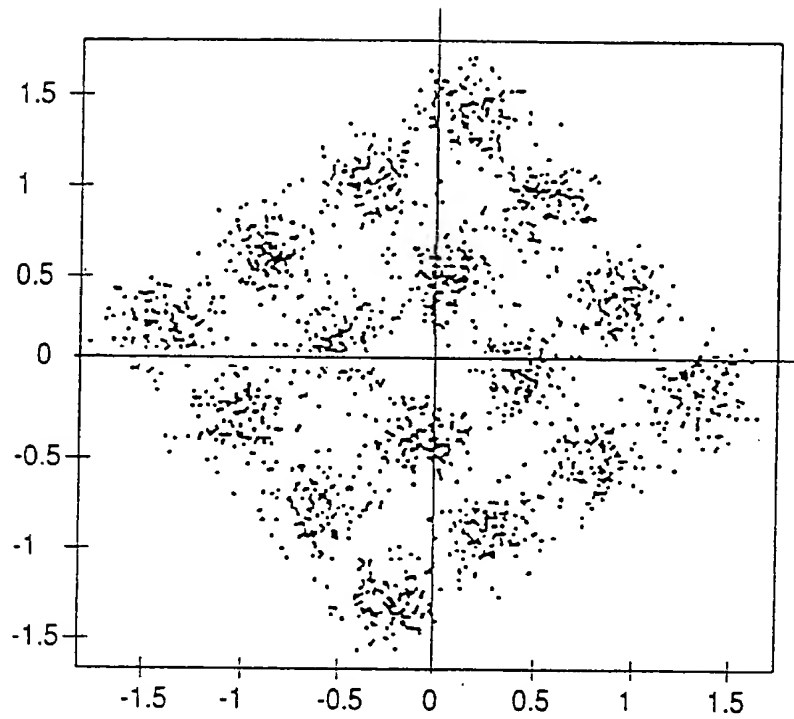


Fig.5A

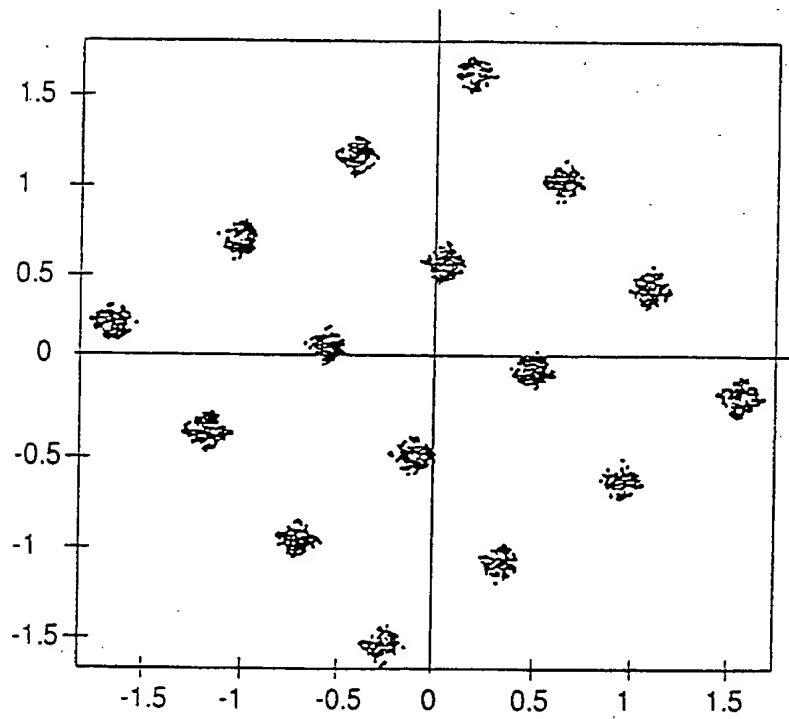


Fig.5B

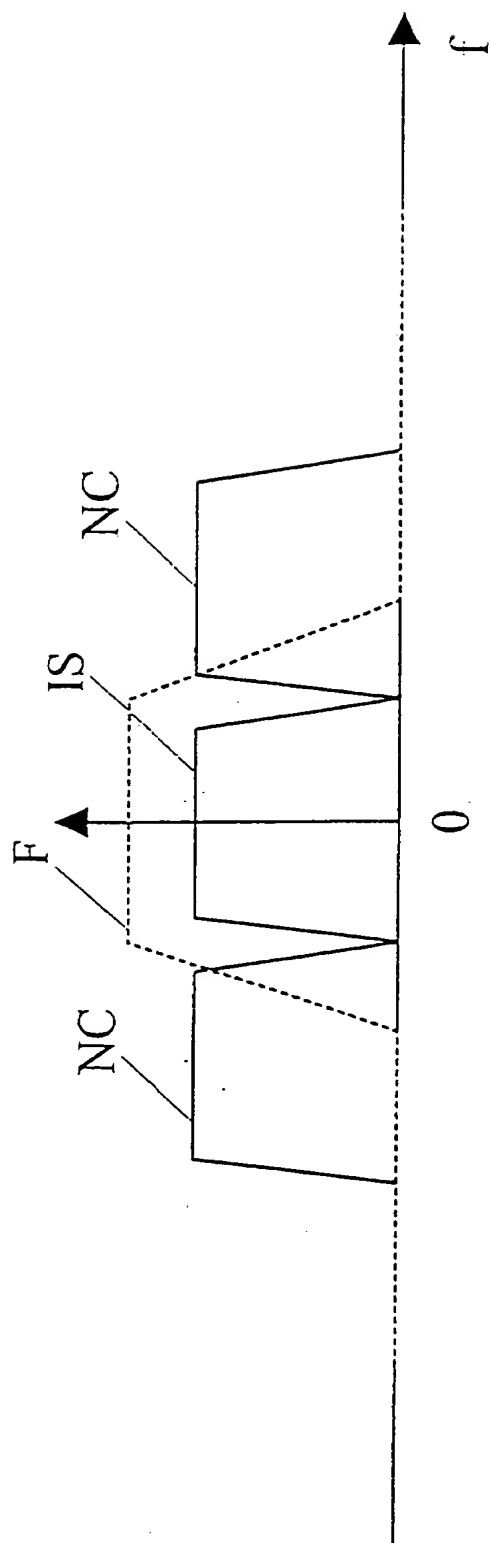


Fig. 6A

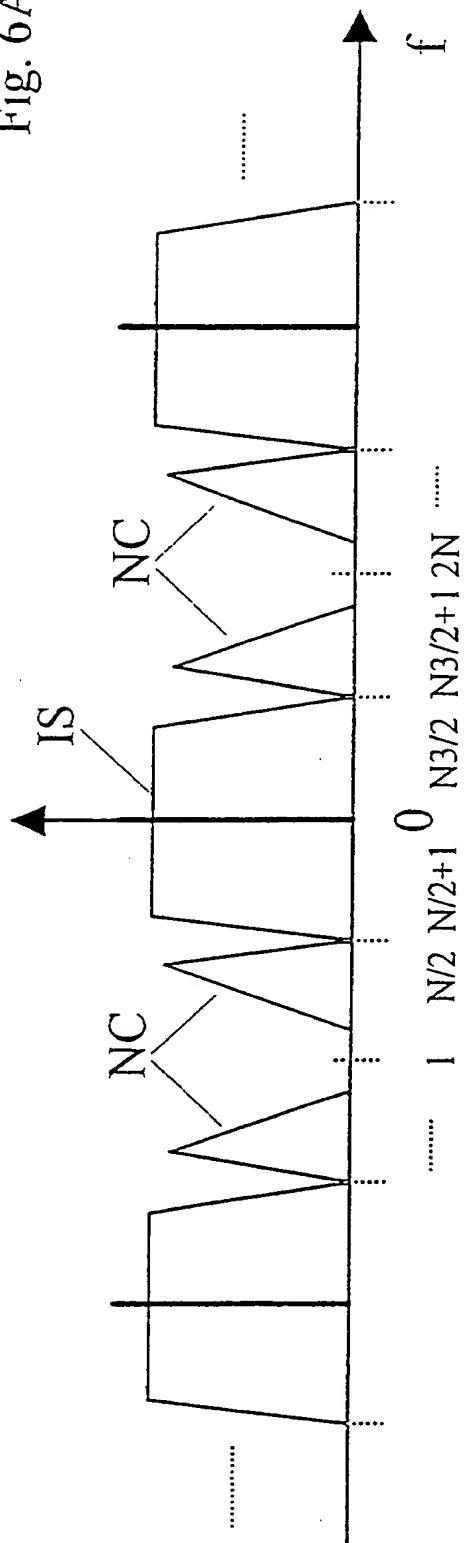


Fig. 6B

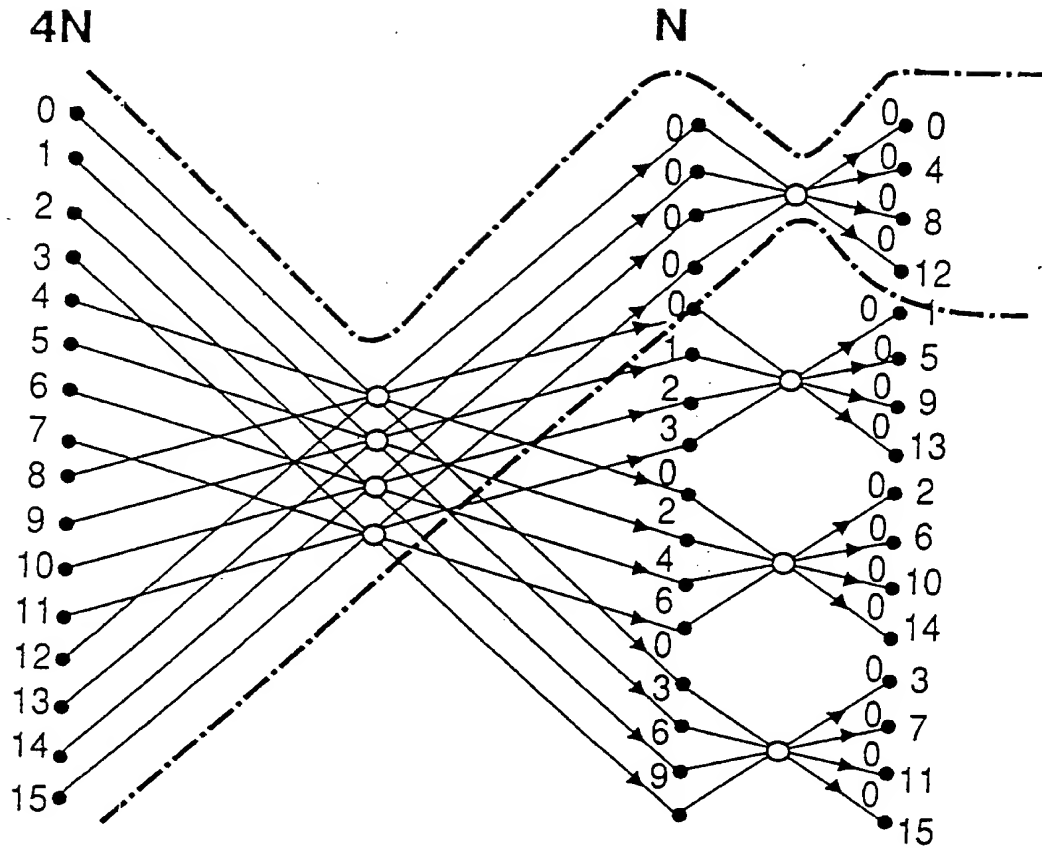


Fig.7

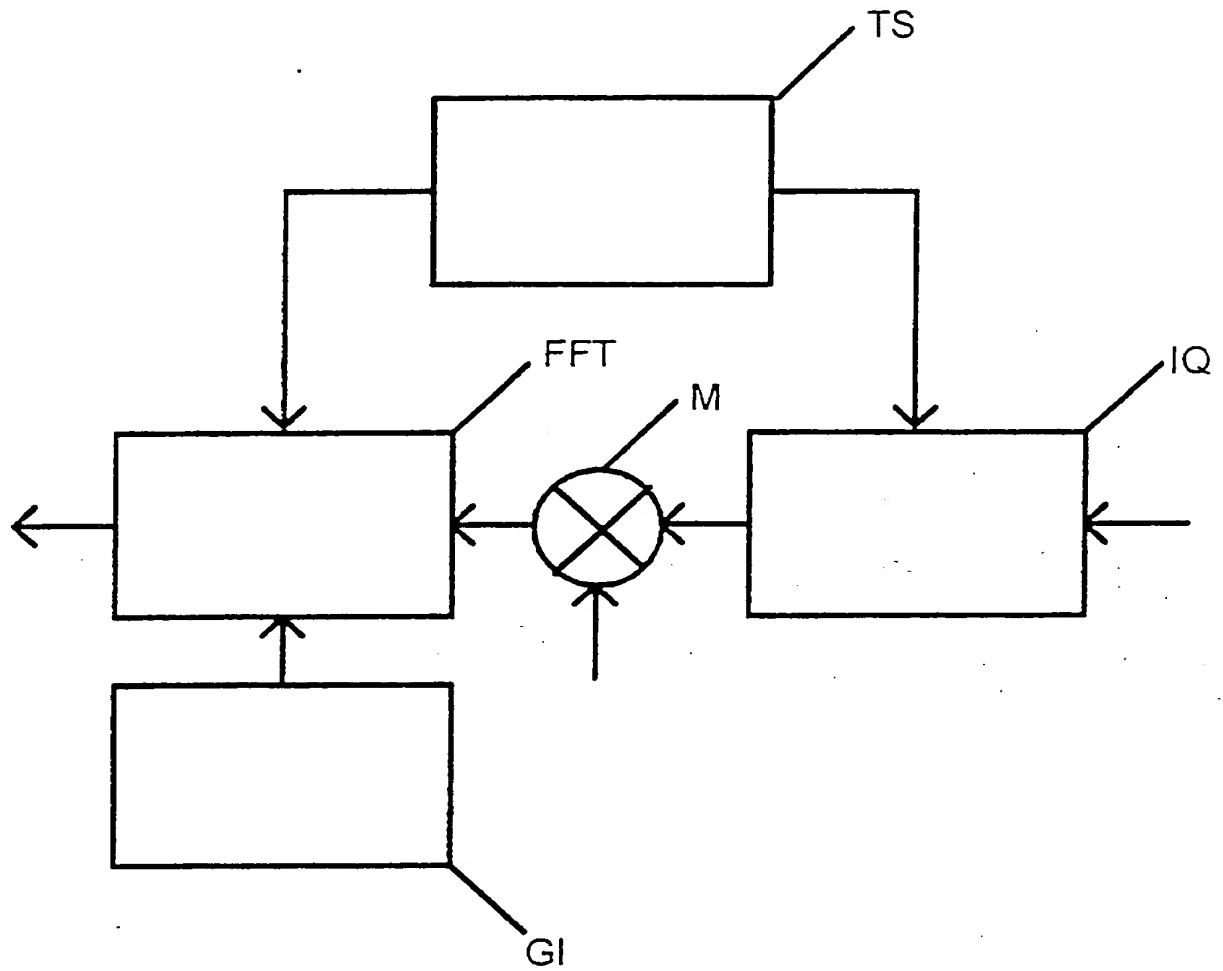


Fig.8